

Сірко З.С.

Державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

Ващенко В.В.

Державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

Овчаренко А.О.

Державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

Костенко О.І.

Державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

Грицун В.М.

Державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

ВПЛИВ ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ LAMINEX-750 НА ДЕСТРУКЦІЮ НЕЦУКРІВ БУРЯКОВОГО СОКУ

У статті висвітлені питання, пов'язані із корисним та якісним виходом цукру із бурякової сировини. Зокрема акцентується увага, на вмісті нецукрів, які заважають кристалізації сахарози і збільшують втрати цукрози в мелясі. Нецукри здатні перешкоджати проведенню технологічних операцій. Вони викликають сильне спінювання бурякового соку, напівпродуктів і, навіть, розчинів цукру. Нецукри є активними сполуками та вносять похибку під час визначення вмісту сахарози. В роботі досліджувався вплив ферментних препаратів на деструкцію нецукрів бурякового соку. Предмет дослідження – вплив ферментних препаратів на деструкцію нецукрів бурякового соку. Мета дослідження – визначити вплив ферментних препаратів на деструкцію нецукрів бурякового соку. В роботі застосовані фізико-хімічні методи досліджень. Цукрові буряки були відібрані в зонах бурякосіяння Вінницької області. Дослідження проводились з використанням установки для визначення піноутворюючої здатності. Зазначено, що на сьогоднішній день є досвід використання ферментних препаратів у цукровій промисловості, які орієнтовані, в основному, на деструкцію декстрину. Авторами запропоновано ферментний препарат – целюлолітичний фермент LAMINEX-750, дія якого направлена на деструкцію не лише декстрину, а й інших шкідливих нецукрів (некрохмальні полісахариди та сапонін). Експериментально була встановлена ефективна концентрація ферментного препарату на одну тону цукрових буряків. Отримана характеристики піно дифузійного соку від тривалості оброблення ферментним препаратом. Проаналізована дія ферментного препарату на зниження вмісту пектинових речовин, сапоніну та декстрину. Наведено фізико-хімічні показники дифузійного соку з додаванням препарату LAMINEX-750. Показано, що під час використання запропонованого ферментного препарату підвищується чистота дифузійного соку, що позитивно впливає на технологічні процеси карбонізації та фільтрування. Це дозволяє отримати готову продукцію високої якості, а також знизити витрату додаткових хімічних речовин, зокрема піногасників.

Ключові слова: дифузійний буряковий сік, вміст нецукрів, ферментний препарат LAMINEX-750, деструкція декстрину, некрохмальних полісахаридів та сапоніну, тривалість оброблення ферментним препаратом, фізико-хімічні показники дифузійного соку із вмістом ферментного препарату.

Постановка проблеми. Незважаючи на численні рекомендації дієтологів, щодо обмеження вживання цукру, він залишається незмінним продуктом в раціоні харчування людини.

Цукор складається з вуглеводів, які досить швидко перетворюються на енергію. Інвертована глюкоза живить мозок, а солодкий смак сприяє

створенню відчуття спокою і щастя. Цукор може зберігатися протягом тривалого терміну практично без змін споживчих властивостей і не потребує спеціальних умов зберігання.

Цукор включено до номенклатури державного матеріального резерву, оскільки його висока енергетична цінність (398 ккал на 100 г) робить

його необхідним для людей, які опинились в умовах надзвичайних ситуацій або воєнного конфлікту.

Виробництво цукру здійснюється відповідно до нового галузевого стандарту якості ДСТУ 4623:2023 «Цукор. Технічні умови», який повністю гармонізований з вимогами Європейського Союзу. Уніфікація стандартів сприятиме спрощенню експортних процедур у майбутньому та мінімізує кількість регуляторних і технічних бар'єрів, що виникали раніше.

Цукор є органічним продуктом, фізико-хімічні та органолептичні характеристики якого значною мірою залежать від якості сировини. На його властивості впливають такі фактори, як ступінь технологічної стиглості вихідного матеріалу, наявність механічних пошкоджень, рівень мікробіологічного забруднення (бактеріального та мікологічного), а також вплив низьких температур, зокрема підмороження. Ці чинники можуть спричиняти зміни в кристалічній структурі цукру, зниження виходу готової продукції та погіршення її зберігання.

У результаті кінцева продукція не завжди відповідає високим стандартам якості, оскільки може містити бактеріальну контамінацію та певну кількість нецукристих домішок. Під час зберігання недостатньо очищеного цукру відбуваються органічні перетворення, які негативно впливають на його якість, зокрема сприяють підвищенню кольоровості та зниженню вмісту сахарози. Останнє може бути зумовлене процесами інверсії, що інтенсифікуються за умов підвищеної вологості. Такі зміни знижують технологічну цінність продукту та можуть обмежувати його подальше використання у харчовій промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У цукровій промисловості застосовуються наступні критерії для оцінки якості буряків: візуальні, аналітичні, технологічні та розрахункові [1–6].

З метою прогнозування впливу складу нецукрів було введено поняття «чистий вихід» сахарози на відміну від фактичного виходу. Для розрахунку «чистого виходу» сахарози для заводів країн Західної Європи втрати у виробництві були прийняті 0,6% до маси буряків. Фактичні втрати цукру під час перероблення змінюються від 0,5 до 1,2% до маси перероблених буряків [7, 8].

Наявність спороутворюючих бактерій в дифузійному соку сприяє утворенню інвертного цукру, нітритів і газів, накопичення

органічних кислот, близько 95% яких становить молочна кислота. Розвиваючись в жорстких умовах процесу дифузії, спорові бактерії пристосовуються до підвищених температур та утворюють стійку біоплівку [9–11].

Велика частина використовуваних в промисловості биоцидів спрямовані на пригнічення зростання і знищення планктонних форм мікроорганізмів.

Стратегії впливу на біоплівки в основному спрямовані на поліпшення відкріплення її від поверхні, ослаблення структури та поліпшення проникнення біоциду до мікроорганізмів [12–17].

На сьогоднішній день у цукровій промисловості використовуються ферменти [18], які в основному орієнтовані на деструкцію декстрину.

Зважаючи на ключову роль очищення дифузійного соку від нецукристих домішок у забезпеченні якості цукровмісної сировини, актуальним є дослідження впливу ферментних препаратів на процеси їхньої деструкції.

Постановка завдання. Метою статті є встановлення закономірностей впливу ферментного препарату на руйнування нецукристих компонентів бурякового соку з метою підвищення ефективності його очищення та оптимізації технологічного процесу виробництва цукру.

Виклад основного матеріалу. У дослідженні використано фізико-хімічні методи аналізу, проведені відповідно до сучасних уніфікованих європейських методик ICUMSA. Експериментальні дані піддавалися статистичній обробці для забезпечення їхньої достовірності та відтворюваності. Визначено фізико-хімічні характеристики цукрових буряків, зразки яких були відібрані в буряко-сійних регіонах Вінницької області, зокрема на базі Крижопільського цукрового заводу.

Дослідження впливу ферментних препаратів на процес деструкції нецукристих домішок проводилося в лабораторних умовах Інституту продовольчих ресурсів НАН України із застосуванням спеціально розробленої та виготовленої експериментальної установки, призначеної для оцінювання піноутворюючої здатності дифузійного соку.

Дослідження піноутворюючої здатності проводили наступним чином. Повітряний компресор активували та за допомогою витратоміра й регулятора встановлювали однаковий потік повітря. У циліндр із барботером вводили фіксовану кількість дифузійного соку, попередньо обробленого ферментним препаратом. Висоту утвореної піни

вимірювали за допомогою лінійки. Усі експерименти виконували у порівнянні з контрольним зразком (необробленим дифузійним соком). Піноутворюючу здатність визначали відповідно до методики Лур'є.

За використання установки з циліндричною трубою, що забезпечує пневматичні збурення соку, піноутворюючу здатність визначали за наступною формулою:

$$ПЗ = \frac{V_n}{V_p}, \%, \quad (1)$$

де V_n – об'єм піни, м^3 ;

V_p – об'єм соку до пневматичного збурення (взбивання), м^3 .

Об'єм піни, за умови проведення дослідження у циліндричній трубці визначали з формули:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h, \quad (2)$$

де r – радіус циліндра, м ;

h – висота циліндра, м .

Чистоту дифузійного соку розраховували за формулою:

$$Ч = \frac{Ц_k}{CP}, (\text{безрозмірна величина}) \quad (3)$$

де $Ц_k$ – вміст сахарози у дифузійному соку, %

CP – вміст сухих речовин у дифузійному соку, %.

Для досліджень було використано зразки дифузійного соку, отримані безпосередньо в умовах виробництва, які попередньо були законсервовані. Перед початком експериментальних процедур сік був приведений до технологічних показників, характерних для виробничого процесу.

Сучасний досвід використання ферментних препаратів у цукровій промисловості свідчить про їхню ефективність. Зокрема, при переробці цукрових буряків, уражених слизистим бактеріозом, застосовується фермент декстраназа, орієнтований на розщеплення декстрину та левану до моносахаридної форми – глюкози.

Для експерименту було обрано целюлолітичний фермент LAMINEX-750, дія якого полягає у руйнуванні α -1,4 та α -1,6 глікозидних зв'язків. Наукову увагу було зосереджено на некрохмальних полісахаридах та сапонінах.

Робочий розчин ферментного препарату LAMINEX-750 комплексної дії готували шляхом розчинення його у воді у спеціально відведеному та промаркованому хімічному посуді.

Експериментальне дослідження встановило, що ефективна концентрація ферментного

препарату LAMINEX-750 становить 0,03–0,08 кг на 1 тону цукрових буряків. У цьому діапазоні препарат забезпечує розкладання сапонінів, декстрану та пектинових сполук. Приготовані робочі водні розчини характеризуються високою прозорістю, слабким запахом, стабільністю та зберігають активність протягом 14 днів при зберіганні в закритих ємностях.

Першим індикатором ефективності дії ферменту є руйнування глікозидних зв'язків сапонінів, що виражається у зниженні пінення обробленого дифузійного соку, особливо при інтенсивному перемішуванні.

Дифузійний сік та зразки, оброблені ферментним препаратом LAMINEX-750, оброблялися на лабораторній установці шляхом барботування повітря через шар рідини. Штучне пінення проводилося з метою визначення висоти утвореного шару піни, її структурних характеристик та швидкості руйнування.

Отримані характеристики піни для різних методів обробки ферментним препаратом наведені у таблицях 1 та 2.

Під час додавання ферментного препарату LAMINEX-750 у всіх дослідних зразках спостерігалось часткове руйнування піни протягом встановленого проміжку часу, що свідчить про розривання полімерних ланцюгів молекул шкідливих нецукристих компонентів.

Під час додавання ферментного препарату LAMINEX-750 у всіх дослідних зразках спостерігалось часткове руйнування піни протягом встановленого проміжку часу, що свідчить про розривання полімерних ланцюгів молекул шкідливих нецукристих компонентів. Для підтвердження дії ферменту на деструкцію нецукристих речовин у дифузійному соку було проведено додаткові фізико-хімічні дослідження (результати наведено у таблиці 3).

Аналіз отриманих даних вказує на позитивний вплив ферментного препарату, що проявився у зниженні вмісту пектинових речовин на 20,8%, сапоніну на 28,6% та декстрану на 37,7%.

Застосування ферментного препарату спричиняє підвищення чистоти дифузійного соку більше ніж на 1,5 одиниці, що позитивно впливає на ефективність технологічних процесів, зокрема вапнокарбонізації та фільтрації. Цей комплекс факторів сприятиме отриманню готової продукції високої якості та дозволить знизити витрати на додаткові хімічні реагенти, зокрема піногасники, які частково накопичуються у кінцевому продукті та мелясі.

Таблиця 1

Показники стійкості піни дифузійного соку від тривалості оброблення ферментним препаратом

№ з/п	Час оброблення, хв.	Показники піни			Піноутворююча здатність соку, %	Індикація глікозидів тритерпенового ряду
		Висота, м	Об'єм, м³	Час руйнування, с		
1	5–10	0,28	0,014	36	70	+ рожевий колір
2	15–20	0,22	0,012	24	60	- колір прозорий
3	25–30	0,20	0,011	12	55	- колір прозорий

Таблиця 2

Залежність показників стійкості піни дифузійного соку від кількості ферментного препарату

№ з/п	Витрати препарату LAMINEX 750, кг на 1 т цукрових буряків	Показники піни			Піноутворююча здатність соку, %	Індикація глікозидів тритерпенового ряду
		Висота, м	Об'єм, м³	Час руйнування, с		
1	Дифузійний сік без додавання ферментного препарату	1,0	0,049	230	245	+ червонорожевий колір
2	Витрати 0,020–0,025	0,82	0,040	54	200	+ червонорожевий колір
3	Витрати 0,03–0,08	0,22	0,012	24	60	+ червонорожевий колір
4	Витрати 0,10–0,15	0,18	0,009	21	45	- прозорий колір

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники дифузійного бурякового соку

№ з/п	Показники	Необроблений дифузійний сік	Дифузійний сік з доданим препаратом «LAMINEX-750» (з концентрацією 0,03- 0,08 кг на 1 т цукрових буряків)
1	Тривалість оброблення, хв	20	20
2	Температура, °C	40	40
3	Показник рН	6,5±0,2	6,6±0,2
4	Вміст сахарози, %	8,16±0,2	8,16±0,2
5	Вміст сухих речовин, %	10,2±0,2	10,0±0,2

Деактивація ферментного препарату LAMINEX-750 відбувається під час технологічних процесів, за умов високих температур (понад 85°C) та високої лужності (рН ≥ 9).

Під час визначення впливу ферментного препарату LAMINEX-750 на ряд нецукрів дифузійного соку цукробурякового виробництва спостерігається можливість суттєвого зниження витрат піногасника, який застосовують у технологічному процесі виробництва та який частково залишається у напівфабрикатах і утримує частину сахарози від ви кристалізації та накопичується в мелясі, що негативно впливає на її якість.

Також можна констатувати, що за рахунок дії ферментного препарату LAMINEX-750 на глікозидний ланцюг нецукрів (сапоніну, декстрину, пектинових речовин) шляхом їх часткової деструкції можна значно підвищити якість напівпродуктів

цукрового виробництва та якість готової продукції загалом і покращити ведення технологічного процесу цукробурякового виробництва.

Висновки. 1. Досліджено вплив ферментного препарату LAMINEX-750 на склад та вміст нецукристих компонентів у дифузійному соці, що утворюється в процесі переробки цукрових буряків.

2. Встановлено залежність фізико-хімічних характеристик дифузійного соку від тривалості обробки ферментним препаратом та його дозування.

3. Визначено фізико-хімічні параметри дифузійного соку за умов застосування ферментного препарату.

4. Доведено, що шляхом впливу ферментного препарату на глікозидні зв'язки нецукристих сполук, що спричиняє їх часткову деструкцію, можна покращити якість кінцевого продукту та оптимізувати технологічний процес виробництва.

Список літератури:

1. Положенець В.М., Роїк М.В., Станкевич С.В., Немерицька Л.В., Журавка І.А. Інтегрований захист цукрових буряків від хвороб, шкідників і бур'янів: Навчальний посібник. Житомир: Рута, 2022. 371 с.
2. Прийдиак Т.Б. Стратегія розвитку та підвищення ефективності бурякоцукрового виробництва: дис. канд. екон. наук: 08.00.03. Полтава, 2016. 198 с.
3. Присяжнюк О.І., Шульга С.С. Формування продуктивності та технологічної якості буряків. Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків в умовах континентального клімату. 2022. Вип 30. 79–95. DOI: <http://doi.org/10.47414/nr.30.2022.269736>
4. Ярчук М.М., Роїк М.В. Буряки й цукор: Нові завдання і пріоритети галузі. Цукрові буряки. 2011. № 2. С. 4–6.
5. Дубчак О.В. Вивчення та добір селекційно цінних ЧС ліній цукрових буряків для одержання про-бних гібридів. Агробіологія. 2020. № 1. С. 42–48.
6. Войтовська В.І., Сторожик Л.І., Зінченко О.А., Рогальський С.В., Кулик Г.А. Хімічний складник коренеплодів буряків цукрових і кормових залежно від способу їх відтворення. Таврійський науковий вісник. № 110. част. 1 С. 31–39. DOI: <http://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-1.5>
7. Вплив умов зберігання цукрових буряків на вилучення та втрати цукру, чистого соку. 2023. URL: <http://www.ukrsugar.com> (дата звернення 18.03.2025)
8. Вплив збільшення тривалості переробного сезону на вміст цукру у буряках. 2019. URL: <http://www.ukrsugar.com> (дата звернення 18.03.2025)
9. Шейко Т. В. Ткаченко С. В., Хомічак Л. М., Олійнічук С. Т., Заїка Ю. І. Шляхи вирішення проблеми пінення напівпродуктів цукрового виробництва// XI Всеукраїнська конференція молодих вчених «Молоді вчені 2020 – від теорії до практики» 12 березня 2020 р., Україна, м. Дніпро, С. 87–92.
10. Zheplinska M., Mushtruk M., Kos T., Vasylyv V., Kryzhova Yu., Mukoid R., Bilko M., Kuts A., Kambulova Yu., Gunko S. The influence of cavitation effects on the purification processes of beet sugar production Juices. Potravinarstvo, Slovak journal of food sciences. 2020. Vol. 14. P. 451–457. DOI: <https://doi.org/10.5219/1284>.
11. Ridout C., Price K. R., Parkin G., et al. Saponins from sugar beet and the floc problem. Journal of Agricultural and Food Chemistry. American Chemical Society. USA. 1994. Feb № 1. P. 279–286. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf00038a010>.
12. Хомічак Л. М., Шейко Т. В., Ткаченко С. В. Аналіз і порівняльна характеристика анти-септичних засобів цукробурякового виробництва. Продовольчі ресурси. 2020, № 14, С. 204–210. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-21>.
13. Sheres Z., Maravic N., Rakic D., Dokic L., Nikolic I., Sorona-Simovic D., Djordjevic M. Application of biocides in the process of sucrose extraction from sugar beet: Effect on sucrose content, number of Leuconostoc colonies and wet pulp characteristics. University of Novi Sad, Faculty of Technology. Novi Sad, Serbia. 2017. Volume 75. 1 January. P. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.038>.
14. Gorodecky V. O., Semenikhin S. O., Daisheva N. M., Kotlyarevskaya N. I., Babakina M. V. The influence of extractant preparation methods on the microbiological contamination of intermediate products of sugar beet raw juice obtaining station Ecology. Environment and Conservation. 2019. Volume 25. Issue 3. P. 472–476.
15. Шейко Т. В. Вплив мікробіологічної біоплівки на технологічний процес цукрового виробництва. Продовольчі ресурси. 2021. № 16. С. 221–228. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-16-21>.
16. Jensen P. S., Davis S. B. Direct clear juice – The production of clear juice in a sugarcane diffuser at Maidstone factory. International Sugar Journal. 2015. Volume 117, Issue 1397, May. <https://internationalsugarjournal.com/paper/direct-clear-juice-the-production-of-clear-juice-in-a-sugarcane-diffuser-at-maidstone-factory/>.
17. Khangholi M. , Jamalli A. The Effects of Sugars on the Biofilm Formation of Escherichia coli 185p on Stainless Steel and Polyethylene Terephthalate Surfaces in a Laboratory Model. Jundishapur J Microbiol. National Center for Biotechnology Information, Bethesda MD. USA. 2016 Sep; 9 (9): e40137. DOI: <https://doi.org/10.5812/jjm.40137>.
18. Дубініна А.А., Хацкевич Ю.М., Попова Т.М., Ленерт С.О. Загальна технологія харчових вироб-ництв: навчальний посібник. Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2016. 497 с.

Sirko Z.S., Vashchenko V.V., Ovcharenko A.O., Kostenko O.I., Gritsun V.M. INFLUENCE OF ENZYME PREPARATIONS ON THE DESTRUCTION OF NON-SUGARS IN BEET JUICE

The article highlights issues related to the efficient and high-quality yield of sugar from beet raw materials. In particular, attention is focused on the content of non-sugars, which hinder sucrose crystallization and increase sucrose losses in molasses. Non-sugars can impede technological operations. They cause strong foaming of beet juice, intermediate products, and even sugar solutions. Non-sugars are active compounds

and introduce errors during the determination of sucrose content. The study investigated the effect of enzyme preparations on the destruction of non-sugars in beet juice. The subject of the research is the influence of enzyme preparations on the destruction of non-sugars in beet juice. The aim of the research is to determine the effect of enzyme preparations on the destruction of non-sugars in beet juice. Physicochemical research methods were used in the work. Sugar beets were selected from the beet-growing areas of Vinnytsia region. The studies were carried out using an installation for determining foaming ability. It is noted that to date, there is experience in using enzyme preparations in the sugar industry, which are mainly focused on the destruction of dextran. The authors proposed an enzyme preparation – the cellulolytic enzyme LAMINEX-750, the action of which is directed at the destruction of not only dextran, but also other harmful non-sugars (non-starch polysaccharides and saponin). The effective concentration of the enzyme preparation per ton of sugar beets was experimentally established. The characteristics of the diffusion juice foam depending on the duration of treatment with the enzyme preparation were obtained. The effect of the enzyme preparation on reducing the content of pectic substances, saponin, and dextran was analyzed. The physicochemical parameters of diffusion juice with the addition of LAMINEX-750 are presented. It is shown that the use of the proposed enzyme preparation increases the purity of the diffusion juice, which positively affects the technological processes of carbonation and filtration. This makes it possible to obtain high-quality finished products, as well as reduce the consumption of additional chemicals, in particular antifoaming agents.

Key words: *diffusion beet juice, non-sugar content, enzyme preparation LAMINEX-750, dextrin destruction, non-starch polysaccharides and saponin, duration of enzyme preparation treatment, physical and chemical parameters of diffusion juice with enzyme preparation content.*